УДК 553.982.2:504.54(571.16)

ВЛИЯНИЕ ШЛАМОВЫХ АМБАРОВ НА ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ВАСЮГАН

В.А. Базанов*, О.Г. Савичев**, Д.В. Волостнов***, Б.А. Егоров****, А.О. Крутовский ****, Е.Г. Язиков**

*НИИ биологии и биофизики при Томском государственном университете
**Томский политехнический университет. E-mail: yazikov@mail2000.ru
***ОГУ "Облкомприрода". E-mail: sec@green.tsu.ru
****ГУП ТЦ "Томскгеомониторинг"

Изложены результаты геохимических исследований болотных экосистем в пределах Двуреченского и Западно-Моисеевского нефтяных месторождений, расположенных в бассейне р. Васюгана. Получена обобщенная гидрохимическая характеристика водных объектов, находящихся в разной степени антропогенного влияния. Установлено изменение микроэлементного состава торфов по вертикальному разрезу торфяной залежи. Показано, что вблизи техногенных объектов минерализация болотных вод может достигать 1,5 г/дм³ и более. Но уже в нескольких десятках метров от источника загрязнения минерализация, а также концентрация ионов хлора, натрия и других компонентов, уменьшаются почти на порядок и достигают фоновых значений. В разрезе торфяной залежи распространение загрязняющих веществ ограничивается деятельным горизонтом.

Введение

Бассейн Средней Оби, включая участки разработки нефтяных и газовых месторождений, характеризуется очень высокой заболоченностью, являющейся мощным фактором формирования химического состава природных вод данного региона. Этот фактор во многом определяет специфику водно-экологической и геохимической обстановки в районе. Так, с заболоченностью водосборов связывается повышенное содержание в природных водах целого ряда веществ, многократно превышающее допустимые нормативы качества. Антропогенное влияние, включая воздействие объектов нефтедобычи в бассейне крупного притока р. Оби – р. Васюгана, может приводить к дополнительному увеличению концентраций ряда веществ, причем не только из-за химического загрязнения объектов природной среды, но и в результате изменения их водного режима [1, 2]. С учетом этого обстоятельства, авторами в течение 1996–2003 гг. были проведены геохимические исследования болотных экосистем в бассейнах р.р. Васюгана, Парабели и Чаи, результаты которых, касающиеся общей гидрогеохимической характеристики природных вод и техногенных объектов, а также их сравнительного анализа, частично изложены в ряде работ [1–4]. В данной статье приведены материалы исследований по проблеме оценки влияния шламовых амбаров на геохимическое состояние природных вод и торфяных залежей болот в бассейне р. Васюгана. Актуальность этой проблемы обусловлена следующими обстоятельствами.

Шламовые амбары (ША) используются для сбора и хранения отходов бурения и представляют собой специально подготовленные котлованы, вместимость которых определяется из расчета около 700 м³ на одну буровую скважину. В соответствии с действующим в АООТ "Томскнефть" стандартом, амбар должен иметь надежную гидроизоляцию, что на практике в полной мере выполняется не всегда. Очевидно, что подобный объект представляет собой потенциальную угрозу для компонентов окружающей среды вследствие возможного выноса веществ из ША и их распространения в болотных экосистемах.

Объекты и методика исследований

В качестве объектов исследований были выбраны четыре участка болотных экосистем, расположенных в западной части водосбора р. Васюгана на территории Западно-Моисеевского и Двуреченского нефтяных месторождений. В пределах каждого из этих участков проводили изучение природных сред, характеризующихся разной степенью преобладания естественных и техногенных компонентов, – от эксплуатируемых ША до болотных вод на большом удалении от каких-либо техногенных объектов, включая источники атмосферного загрязнения.

Методика исследований включала в себя отбор проб болотных, речных и снеговых вод, проб торфа, последующее определение их химического состава, обобщение и анализ полученных материалов и данных других организаций и исследователей. Отбор проб болотных и речных вод осуществлялся в соответствии с ГОСТ Р 51592-2000 из слоя 10...30 см от поверхности.

Определение химического состава природных вод и торфа проводили в аккредитованных лабораториях государственного унитарного предприятия (ГУП) территориального центра (ТЦ) "Томскгеомониторинг" и областного государственного учреждения (ОГУ) "Облкомприрода" по аттестованным методикам. Кроме того, использовались опубликованные материалы о химическом составе болотных вод на территории Томской области, полученные ранее в ГУП ТЦ "Томскгеомониторинг", Томского политехнического университета (ТПУ), научно-исследовательского института биологии и биофизики при Томском государственном университете (НИИ ББ при ТГУ), ОГУ "Облкомприрода", а также в других организациях, и обобщенные в работах [1, 2, 5].

Для объяснения полученных данных и выявления механизма трансформации химического состава природно-техногенных вод проводили термоди-

намические расчеты с помощью программного комплекса Solution+, разработанного О.Г. Савичевым и др. [6] в вычислительной среде MS Excel на основе метода констант.

Геохимическая характеристика шламовых амбаров и загрязненных участков торфяной залежи

С геохимической точки зрения при анализе влияния ША на окружающую среду можно выделить четыре основных источника техногенных загрязнений, различающихся по генезису и химическому составу: 1) буровой раствор; 2) шлам пород; 3) нефтепродукты; 4) пластовые минерализованные воды. Буровые растворы представляют собой сложную полидисперсную систему, состоящую из жидкой и твердой фаз. В ее состав могут входить химические реагенты: утяжелители, понизители водоотдачи, пептизаторы, структурообразователи и коагуляторы. Обработку забоя скважины проводят с помощью кислот, а для предотвращения гидратообразования применяют метанол. Вместе с промывочной жидкостью из скважины выносится на поверхность буровой шлам. В его состав входят выбуренная порода (60...80 %), органические вещества (8 %), водорастворимые соли (до 6 %), утяжелитель, глина, иногда нефть. Выбуренная порода представляет собой тонко измельченную смесь суглинков, песчаников и аргиллитов. Химический состав бурового шлама представлен: 55...60 % SiO_2, 12...16 % Al_2O_3, 3,2...4,3 % CaO, а гранулометрический характеризуется различными фракциями песка (1...0,05 мм – до 40 %, < 0,05 мм – 36...41 %) и глины – до 30 %. Средняя влажность бурового шлама 40,6 %, плотность составляет 1550 кг/м^3. Объем выбуренного шлама может достигнуть 0,4 м^3 с одного погонного метра проходки эксплуатационной скважины. Осредненный химический состав пластового песка представлен SiO_2 – 96,4 %; Al_2O_3 – 1,8 %; CaO – 0,42 %; MgO – 0,35 %; суммой FeO +Fe_2O_3 – 0,25 % и K_2O + Na_2O – 0,44 %. Пластовые попутные воды имеют минерализацию в пределах от 1 до 300 г/л, а также содержат нефть и элементы разного класса опасности (B, Li, Br, Sr).

Таблица 1. *Химический состав торфа на загрязненных участках торфяной залежи на территории Двуреченского нефтяного месторождения, мг/кг*

Компоненты	Интервал опробования от поверхности, см			
	0...15	15...20	20...25	25...50
Ca	4359	14279	11573	1503
Si	<0,5	148	<0,5	14,6
Mn	94	106	71	13
Al	1,02	8,91	4,19	6,08
Ba	13,4	36	16	7,2
Sr	15,2	150	50	8,7
As	0,88	1,96	<0,01	<0,01
Cr	1	<0,5	<0,5	<0,5
Cl	286	190	126	128
Нефтепродукты	837	1584	982	1159

Для оценки влияния отходов бурения на химический состав торфов на загрязненном участке был заложен шурф размером 60×60 см и глубиной 50 см. Из шурфа отобраны пробы торфа в горизонтах торфяной залежи 0...15, 15...20, 20...25 и 25...50 см от поверхности. Анализ состава этих проб показал, что в изменении концентраций Ca, Si, Mn, Ba, Sr, As, Al и зольности торфа по профилю максимумы приурочены к слою 15...20 см от поверхности, а для Pb, Cr и Cl – к верхнему слою 0...15 см (табл. 1). Также следует отметить, что для концентраций значительной части изученных элементов характерно наличие второго, меньшего по величине максимума в слое 25...50 см от поверхности.

Химический состав природных вод в районе расположения шламовых амбаров и буровых скважин

Анализ результатов гидрохимических исследований показал, что на загрязненных отходами бурения участках болот наблюдаются высокие значения минерализации болотных вод (до 1,5 г/дм^3 и более), концентрации ионов натрия и хлора (табл. 2). Однако уже на удалении в несколько десятков или первых сотен метров от источника загрязнения происходит существенное уменьшение концентраций макрокомпонентов (в 80...100 и более раз), свидетельствующее о значительной способности болот к самоочищению.

Техногенные воды загрязненных болотных участков и шламовых амбаров в основном солоноватые и по составу хлоридно-натриевые, тогда как незагрязненные природные воды – пресные, с очень малой (снег, болотные воды верхового болота), малой (водотоки и незначительно загрязненные воды верховых болот) и средней (болотные воды низинного болота) минерализацией с преобладанием в ионном составе Ca^{2+} и HCO_3^- (табл. 2), что хорошо согласуется с классификацией О.А. Алекина [7]. Наряду с этим так же отмечено, что в болотных водах сильно загрязненных участков вблизи амбаров наблюдается более высокая концентрация в %-экв. хлор-иона, чем непосредственно в амбарных водах. Возможно, это объясняется достаточно интенсивным удалением из раствора соединений кальция и гидрокарбонат-иона, тогда как более подвижные ионы Cl^-, не образующие в болотной среде малорастворимых соединений, сперва накапливаются в болотных водах вблизи амбаров, а затем выносятся с фильтрационными потоками болотных вод, формирующимися в деятельном горизонте торфяной залежи.

Механизм же удаления ионов кальция и гидрокарбонат-иона, а следовательно и уменьшения минерализации природно-техногенных вод, предположительно, может быть связан с образованием малорастворимых соединений гуминовых кислот (ГК) и кальция [6]. В подтверждение данного предположения можно привести результаты термодинамических расчетов, выполненных на основе результатов

Таблица 2. *Обобщенные сведения о химическом составе вод на территории Двуреченского и Западно-Моисеевского нефтяных месторождений, мг/дм³*

Показатель	Амбар	Загрязненный участок торфяной залежи	Переувлажненный участок торфяной залежи	Водотоки	Загрязненные болотные воды	Низинное болото	Верховое болото	Снег
pH	7,52	6,70	4,85	5,03	5,27	6,90	3,70	–
Макрокомпоненты								
Ca^{2+}	60,8	138,3	16,0	21,6	22,0	70,1	6,0	4,2
Mg^{2+}	19,1	15,8	7,9	7,9	6,9	18,2	2,4	0,7
Na^{+}	464,1	226,8	3,9	3,0	32,9	14,2	<0,1	0,5
K^{+}	25,9	5,6	1,5	0,5	2,1	1,2	<0,1	0,8
$Fe_{общ.}$	14,740	1,670	6,475	3,054	0,737	–	0,780	0,080
HCO_3^-	567,3	280,6	27,5	71,0	66,1	384,3	6,1	13,7
SO_4^{2-}	<2	10,2	<2	1,7	<2	<2	<2	<2
Cl^-	531,8	483,8	5,8	4,1	36,4	5,0	2,5	0,8
$\Sigma_и$	1670,0	1161,0	63,5	109,8	167,3	494,0	18,0	21,7
Биогенные вещества								
NO_3^-	3,723	3,250	3,350	3,254	4,567	3,800	1,400	–
NO_2^-	<0,01	<0,01	0,040	0,027	<0,01	<0,01	0,037	–
NH_4^+	1,457	0,970	1,155	1,091	1,317	1,300	0,550	–
PO_4^{3-}	0,800	0,060	0,755	0,433	0,077	0,120	<0,05	0,353
Микроэлементы								
Pb	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	–
Zn	0,0391	0,0007	0,0402	0,0078	0,0042	0,0596	0,0120	–
Cu	0,0089	0,0011	0,0127	0,0033	0,0024	0,0059	0,0036	–
Химическое потребление кислорода (ХПК) и нефтепродукты								
ХПК	207,8	152,2	258,7	122,8	251,7	114,3	195,5	–
Нефтепродукты	0,493	0,310	0,585	0,120	0,210	0,090	0,160	0,025
Количество проб	3	2	2	7	3	1	1	3

гидрохимического опробования (табл. 3, 4). Несмотря на их приближенность, обусловленную в том числе и отсутствием надежных сведений о термодинамических константах образования органоминеральных комплексов, они достаточно хорошо объясняют наблюдаемое значительное снижение минерализации воды по мере удаления от источника загрязнения – положительное значение индекса насыщенности L для реакций (Ca^{2+} + ГК = Ca (ГК)) и (Mg^{2+} + ГК = Mg (ГК)) указывает на потенциально возможное образование и последующее выведение из раствора соединений гуминовой кислоты (ГК), кальция и магния. Последние два элемента являются компонентами карбонатной системы, а изменение их содержаний совместно с прочими процессами приводит к снижению концентраций гидрокарбонат-иона, а следовательно и минерализации.

Содержания прочих химических элементов и их соединений в техногенных и природных вод не столь различимы, как концентрации макрокомпонентов (табл. 2), что объясняется особенностями их химического состава и тем обстоятельством, что болотные воды сами по себе содержат значительное или даже очень большое количество соединений азота и органических веществ, в составе которых преобладают гуминовые и фульвокислоты. При этом следует отметить, что если ГК образуют с рядом металлов, как уже указывалось выше, малорастворимые соединения, выпадающие из раствора, то фульвокислоты, напротив, входят в состав подвижных органоминеральных комплексов, накапливающихся в болотных водах. Возможно этот механизм, а не наличие тех или иных источников антропогенного загрязнения, и оказывает основное влияние на уровень содержания соединений тяжелых металлов в болотных водах района исследований.

Таблица 3. *Реакции растворения-осаждения в водном растворе*

Номер реакции	Реакция
1	$Ca^{2+}+CO_3^{2-} = CaCO_3$
2	$Ca^{2+}+Mg^{2+}+2CO_3^{2-} = CaMg(CO_3)_2$
3	Ca^{2+}+ГК = Ca(ГК)
4	Mg^{2+}+ГК = Mg(ГК)
5	$Ca^{2+}+2HCO_3^- = CaCO_3+CO_2+H_2O$
6	$Mg^{2+}+2HCO_3^- = MgCO_3+CO_2+H_2O$
7	$Al_2Si_2O_7{\cdot}2H_2O+Ca^{2+}+2HCO_3^- = CaAl_2Si_2O_8+3H_2O+2CO_2$
8	$Al_2Si_2O_7{\cdot}2H_2O+Ca^{2+} = CaAl_2Si_2O_8+2H^++H_2O$

Более очевидно влияние амбаров и рассредоточенных разливов буровых растворов и нефти на содержание в водах нефтепродуктов (табл. 2). Однако и в этом случае нет оснований утверждать, что именно амбары является главным фактором формирования содержаний этих веществ в болотных водах в количествах 0,09...0,28 мг/дм³. Возможно, что источником углеводородов в болотных водах может быть загрязненный атмосферный воздух [8], однако этот вопрос в настоящее время изучен недостаточно полно.

По средним значениям индексов насыщенности L природных и техногенных вод на территории Двуреченского и Западно-Моисеевского нефтяных месторождений следует отметить, что отрицательное значе-

Таблица 4. Средние значения индексов насыщенности L природных и техногенных вод на территории Двуреченского и Западно-Моисеевского нефтяных месторождений в 2003 г.

Объект опробования	Номер реакции согласно табл. 3							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Амбар	-5,92	-11,30	0,82	1,06	0,11	-3,28	-257,51	-22,04
Загрязненный участок	-4,83	-9,55	1,24	1,05	-0,61	-4,45	-258,71	-24,43
Переувлажненный участок	-9,13	-17,53	0,48	0,89	-4,29	-7,51	-263,06	-33,14
Водоток	-7,29	-13,98	0,39	0,69	-4,08	-7,42	-262,81	-32,64
Загрязненные болотные воды	-7,45	-14,28	0,48	0,80	-3,72	-7,04	-262,25	-31,51
Низинное болото	-0,43	-0,42	1,07	1,21	-0,35	-3,84	-258,42	-23,85
Верховое болото	-6,30	-11,97	0,10	0,42	-6,27	-9,58	-265,74	-38,49
Озеро	-6,43	-12,35	-0,05	0,14	-6,40	-9,85	-265,88	-38,77
Снег	-4,81	-9,48	-0,05	-0,22	-4,79	-8,60	-263,27	-33,56

ние индекса насыщенности свидетельствует о потенциально возможном растворении минералов, а положительное значение, напротив, указывает на возможность образования подобных минералов (табл. 4).

Выводы

Проведенные исследования показали, что значительное химическое загрязнение болотных вод, в результате которого произошло заметное изменение химического состава поверхностных вод на территории Двуреченского и Западно-Моисеевского нефтяных месторождений ограничено локальными участками, расположенными в нескольких десятках метров от ША. Минерализация болотных вод на этих участках увеличилась примерно с 0,1 до 1,9 ПДК, содержание хлоридов – с 0,01 до 2 ПДК, содержание нефтепродуктов – с 0,5 до 2,0 ПДК и более. Одним из наиболее характерных показателей антропогенных изменений является повышенное содержание хлор-иона (обычно более 15...20 мг/л). В процессе строительства дорог и иных инженерных объектов в пределах верховых болот могут меняться гидрогеохимические условия, приближаясь в некоторых случаях по ряду показателей к условиям низинных болот. В результате этого происходит увеличение содержаний растворенных солей, не связанное с химическим загрязнением болот.

Наиболее важные, с точки зрения формирования химического состава речных вод заболоченных территорий, гидрогеохимические процессы протекают на окраинах болотных массивов, где накапливаются водные массы и формируются их направленные потоки [2]. В связи с этим, в дальнейшем сравнение химического состава загрязненных и незагрязненных вод нужно проводить дифференцированно для центральных и периферийных частей болот. В изученных природных водах практически повсеместно, независимо от степени и характера антропогенного воздействия, в повышенных концентрациях присутствуют Fe, NH_4^+ и органические вещества (превышение ПДК в несколько или даже десятки раз для хозяйственно-питьевых и рыбохозяйственных вод). Что касается непосредственно торфов, то вертикальное распространение элементов в торфах верховых болот в зонах влияния ША и буровых скважин в основном ограничивается мощностью деятельного горизонта (0,4...0,5 м). Горизонтальное же распространение химических веществ в подобных условиях слабо прослеживается уже в 100...150 м от мест складирования отходов бурения.

Таким образом, при правильной эксплуатации ША их влияние на болотные экосистемы ограничивается, как правило, несколькими десятками – максимум 150...200 м и в отсутствие аварийных ситуаций на буровых скважинах и нефтепроводах не наносит ощутимого вреда водным экосистемам р. Васюгана, являющегося приемником водного и гидрохимического стока с территорий нефтяных месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Базанов В.А., Савичев О.Г., Егоров Б.А., Крутовский А.О. Антропогенные изменения макрокомпонентного состава болотных вод на территории Томской области // Болота и биосфера: Матер. II научн. шк. – Томск: Изд-во Томск. гос. пед. ун-та, 2003. – С. 94–101.
2. Савичев О.Г., Базанов В.А., Здвижков М.А. Химический состав природных вод болотных ландшафтов с разной степенью антропогенной нагрузки // Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири: Труды Всеросс. научн. конф. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2003. – С. 274–276.
3. Березин А.Е., Базанов В.А., Волостнов Д.В., Шинкаренко В.П. Влияние старых шламовых амбаров на экологическую ситуацию вмещающих территорий // Охрана природы: Сб. статей под ред. А.Е. Березина. – Томск: Изд-во НТЛ, 2001. – Вып. 2. – С. 21–43.
4. Рассказов Н.М., Удодов П.А., Назаров А.Д., Емельянова Т.Я. Болотные воды Томской области // Известия Томского политехнического института. – 1975. – Т. 297. – С. 102–117.
5. Состояние поверхностных водных объектов водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области в 2001 году // Информационный бюллетень. – Томск: Территориальный центр "Томскгеомониторинг", 2002. – Вып. 4. – 82 с.
6. Савичев О.Г., Колоколова О.В., Жуковская Е.А. Состав и равновесие донных отложений р. Томь с речными водами // Геоэкология. – 2003. – № 2. – С. 108–119.
7. Справочник по гидрохимии / Под редакцией А.М. Никанорова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 391 с.
8. Савичев О.Г. Антропогенное поступление железа и органических веществ в речные воды бассейна Средней Оби в пределах Томской области // Известия Томского политехнического университета. – 2002. – Т. 305. – № 6. – С. 405–413.